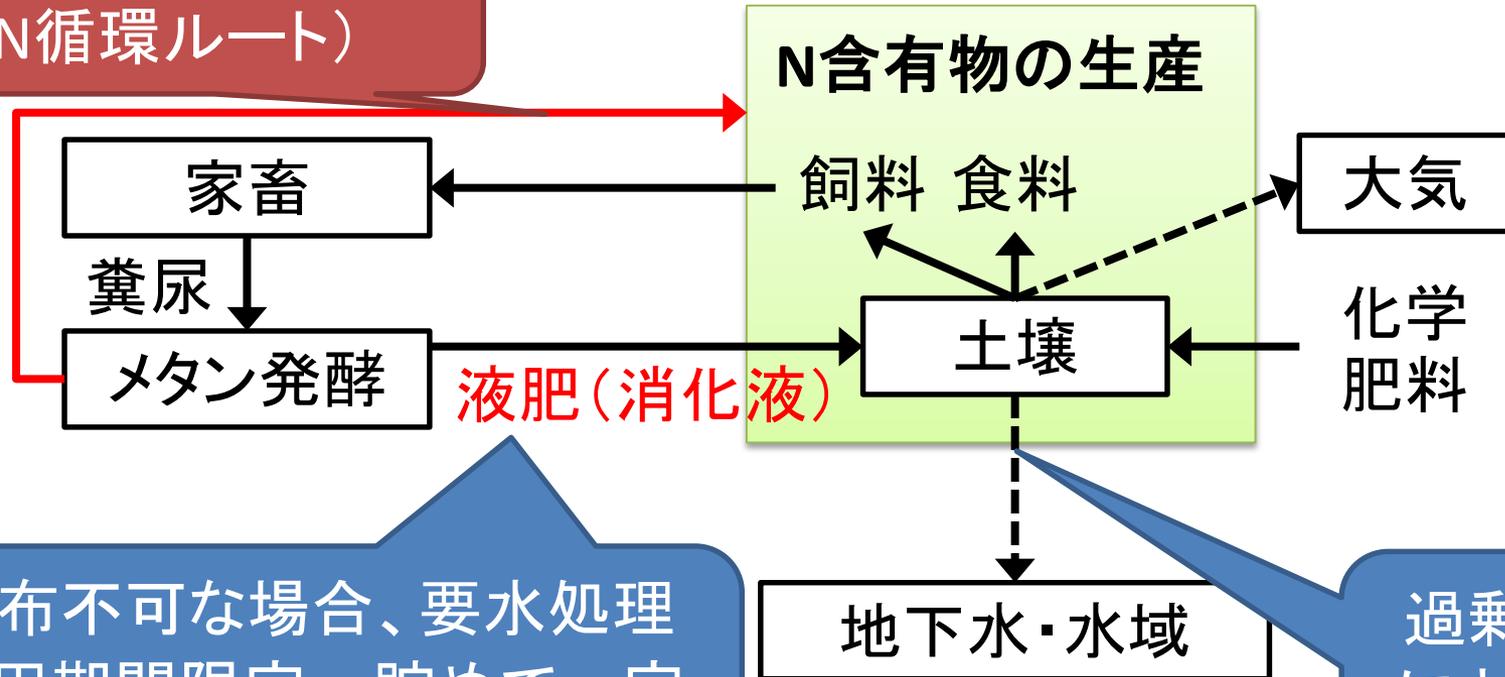


# メタン発酵消化液の栄養塩分離 による微細藻類の培養技術

北海道大学 大学院工学研究院  
環境工学部門  
佐藤 昌宏

# 技術開発の背景～消化液利用～

新たな消化液利用  
(N循環ルート)



散布不可な場合、要水処理  
利用期間限定＝貯めて一定  
期間に散布

過剰散布  
により、循  
環できない

## 消化液を微細藻類培養に用いることに着目

# 技術開発の背景～藻類培養～

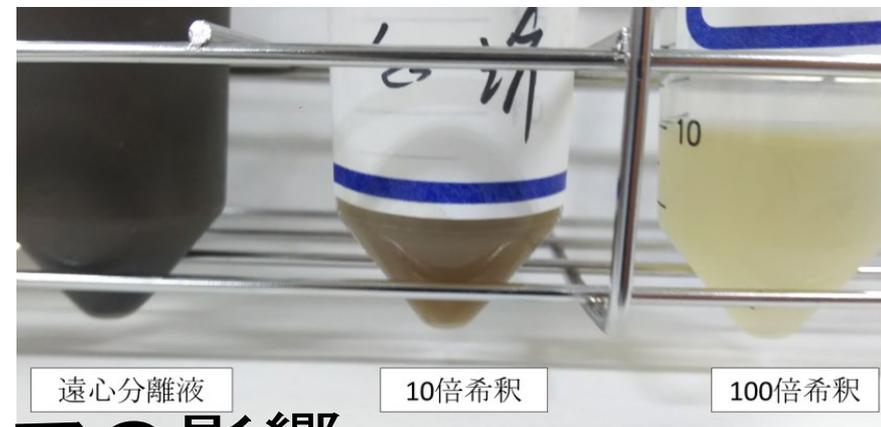
これまでも・オイル生産、食料品など微細藻類の大量培養技術が確立

大量培養には栄養塩の確保がコスト削減のために必要

→下水を用いた実証試験

消化液を用いる場合の問題

- 窒素が高濃度
- pHが高いと遊離アンモニアの影響
- 色成分による光の透過疎外



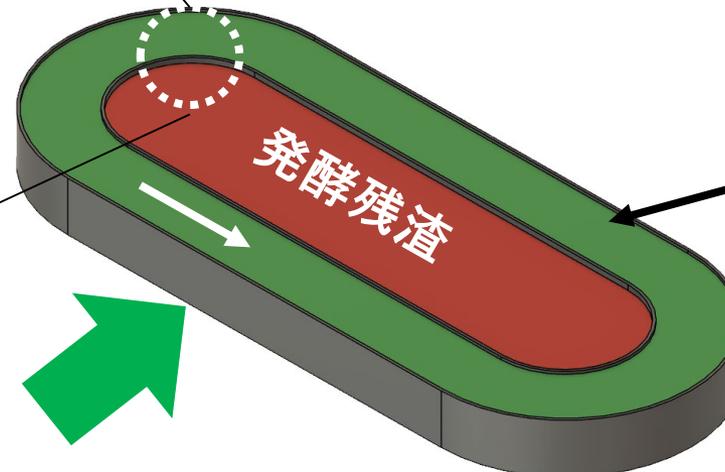
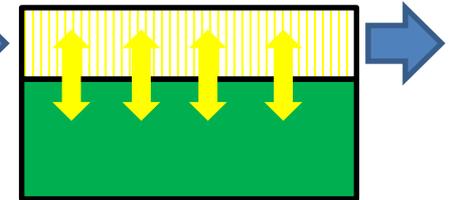
栄養塩と色成分の分離・pH制御が重要

# 本技術のシステム概略

## CO2ガス供給によるpH制御

メタン発酵のバイオ  
ガス発電排ガスの  
供給

気液平衡

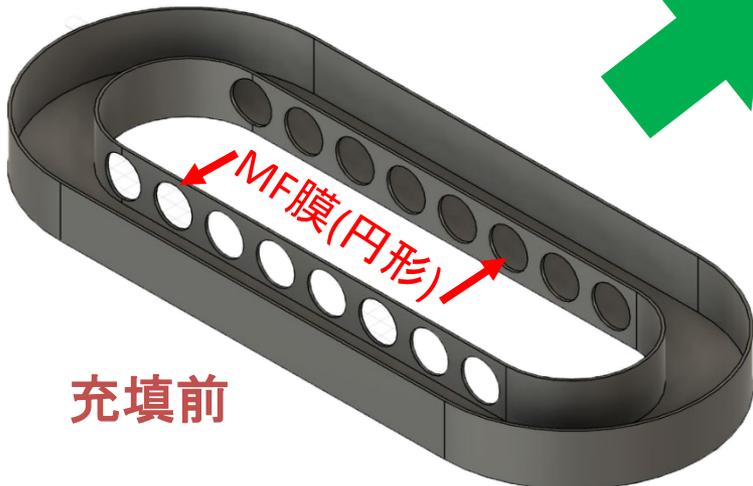
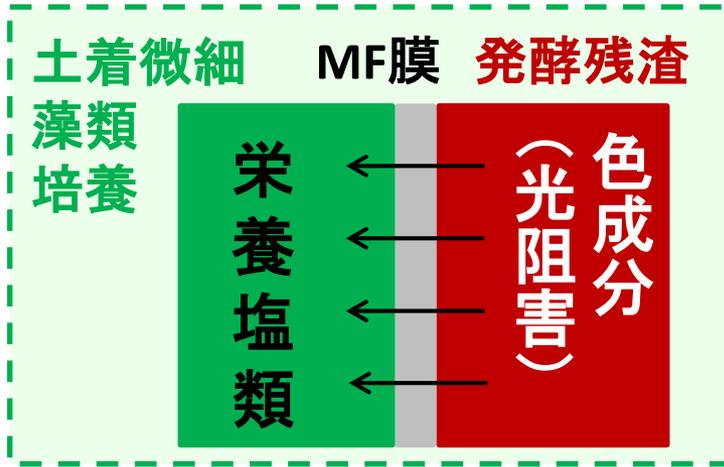


土着微細  
藻類培養

充填後(発酵残渣・培養液)

<横型レースウェイ式培養槽>

## 膜による栄養塩分離



充填前

# 従来の技術との相違点

色成分による光の障害

色成分  
の除去

濃縮回収＋培養  
槽へ添加・希釈

培養器の改善

凝集剤  
の添加

UFやOR膜等、加圧、  
目詰まり・洗浄が必要

光の強度大  
担持体(ろ布)の利  
用

日常的  
な操作  
は不要

無加圧  
希釈は最小限・頻度は  
低い

培養槽の深さ次第  
で回収量大

従来

本  
技術

# 開発スキーム

1. 消化液を用いた土着微細藻類の培養～CO<sub>2</sub>ガス気液供給によるpH制御と炭酸供給～
2. 消化液中の光の阻害要因の解明
3. 消化液中の栄養塩膜分離挙動

# 消化液を用いた土着微細藻類の培養 (CO<sub>2</sub>ガス気液平衡によるpH制御と炭酸供給)

CO<sub>2</sub>ガスと空気を混合し、  
CO<sub>2</sub>濃度を約10%、5%、  
0%に調整した気体を封入  
3日毎に入替

全明条件

液面で

206 $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/d

培養液P濃度

50 mg/L

培地の光透過率

28% (684nm)

培養温度

23°C



振とう

実験  
日数:  
6日



実験日  
数:  
3日

静置

大気開放

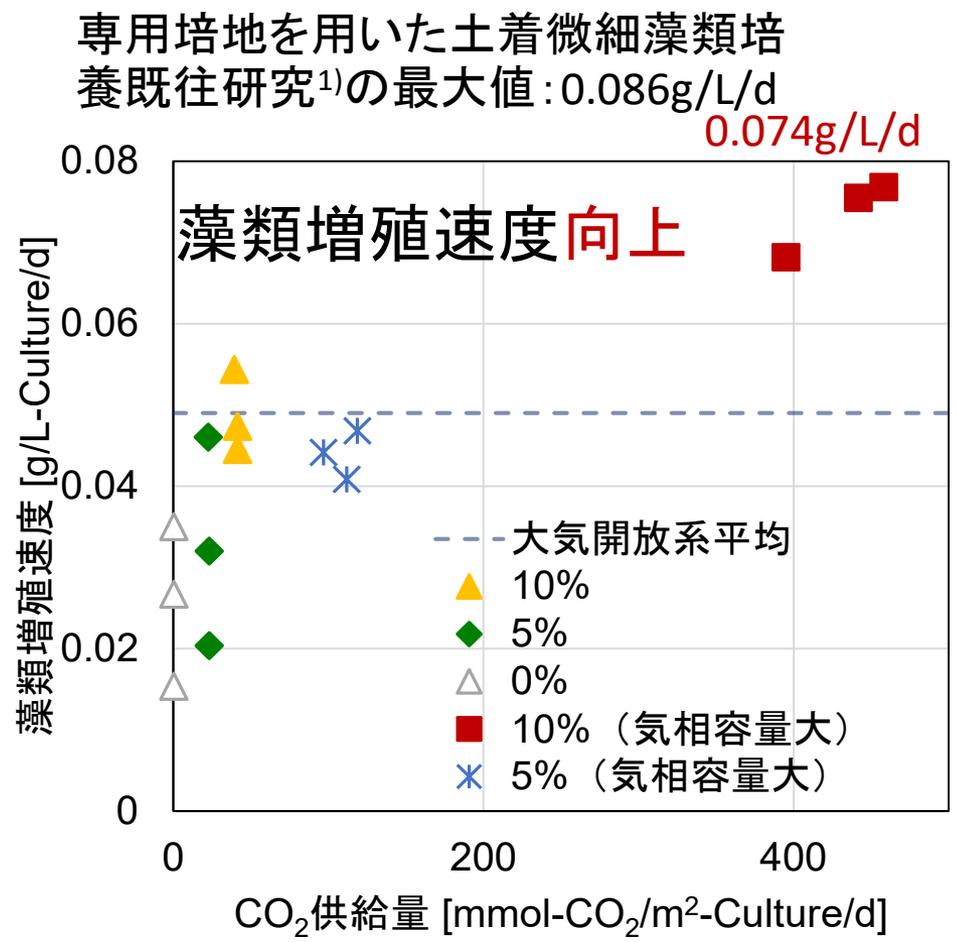
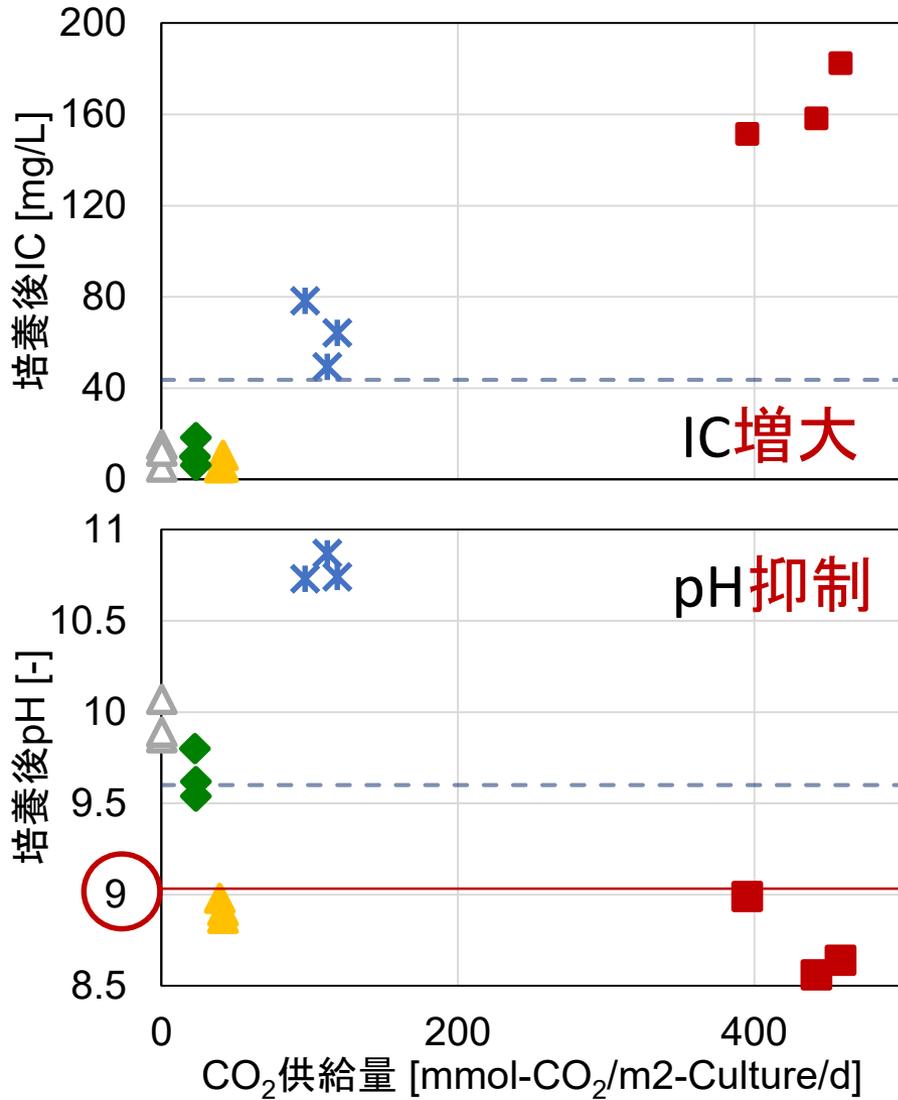
通気性スポンジ



CO<sub>2</sub>供給量 [mmol-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>-Culture/d]

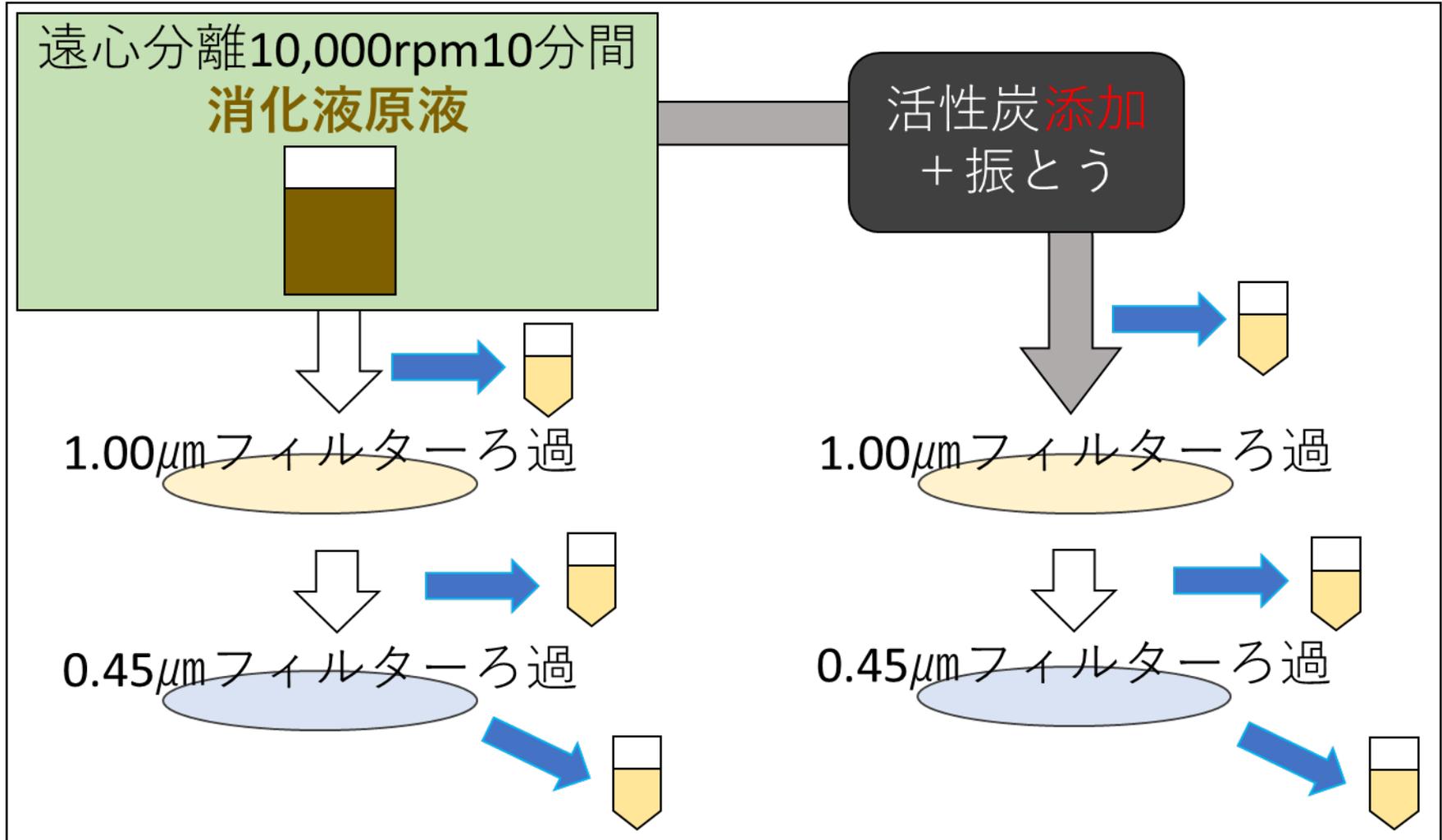
= 封入CO<sub>2</sub>濃度 × 封入気相量 / 培養面積 / 日数

# 消化液を用いた土着微細藻類の培養 (CO<sub>2</sub>ガス気液平衡によるpH制御と炭酸供給)



1) 出村幹英ら: Biomass productivity of native algal communities in Minamisoma city, Fukushima Prefecture, Japan, Algal Research Vol 29, pp22-35, 2018

# 消化液中の光の阻害要因の解明



⇒得られたサンプルの透過率を測定  
1cm石英セル,波長684nm,純水=100%

# 消化液中の光の阻害要因の解明

サンプルの透過率 (%)

	活性炭添加なし	活性炭添加あり	
原液	0%	0%	液内 粒径 大  1.00 $\mu$ m  0.45 $\mu$ m  小
1 $\mu$ mろ液	0%	0%	
0.45 $\mu$ mろ液	40%	80%	

粒子除去  
↓  
粒子除去+吸着  
↓

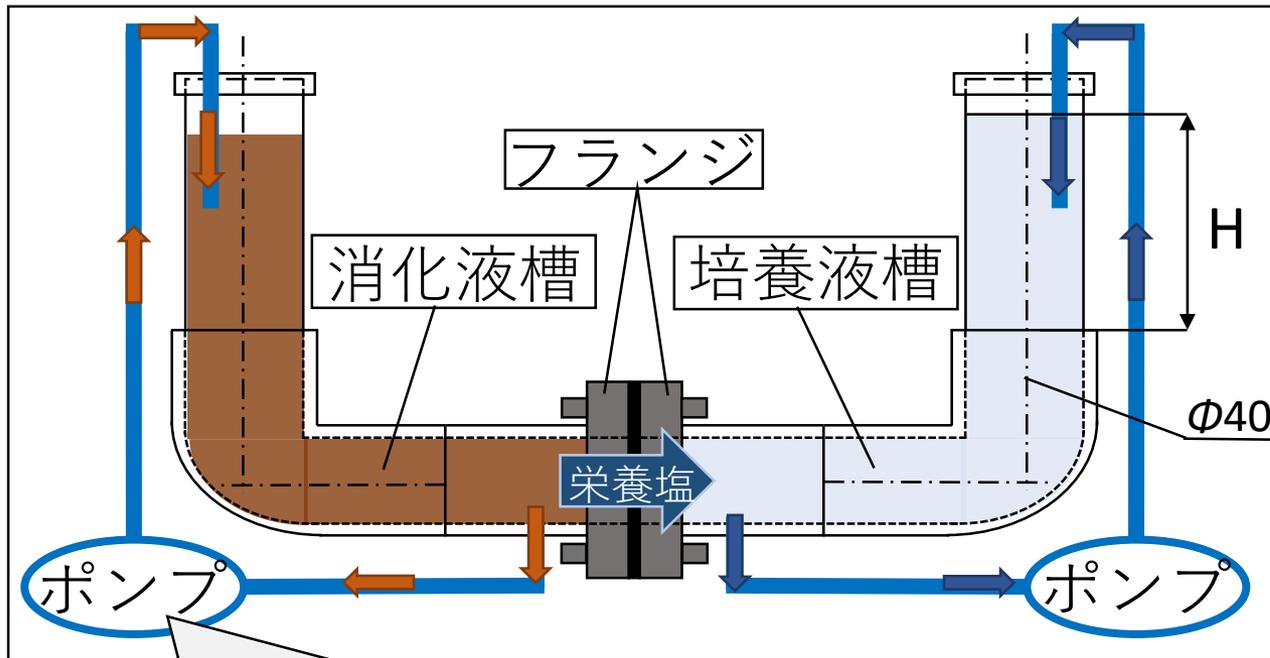
0.45 $\mu$ m以上の粒子除去  
及び0.45 $\mu$ m未満の着色物質の除去により、光の透過阻害は改善  
ただし、懸濁粒子のほうが支配的

# 消化液中の栄養塩膜分離挙動

目的：

MF膜を通過する色成分の挙動の把握

浸透圧差による水分移動の栄養塩分離への影響の把握



## 実験条件

液量：どちらも600mL

ポンプ流量：400mL/min

期間：7日間

採水：毎回5.0mL

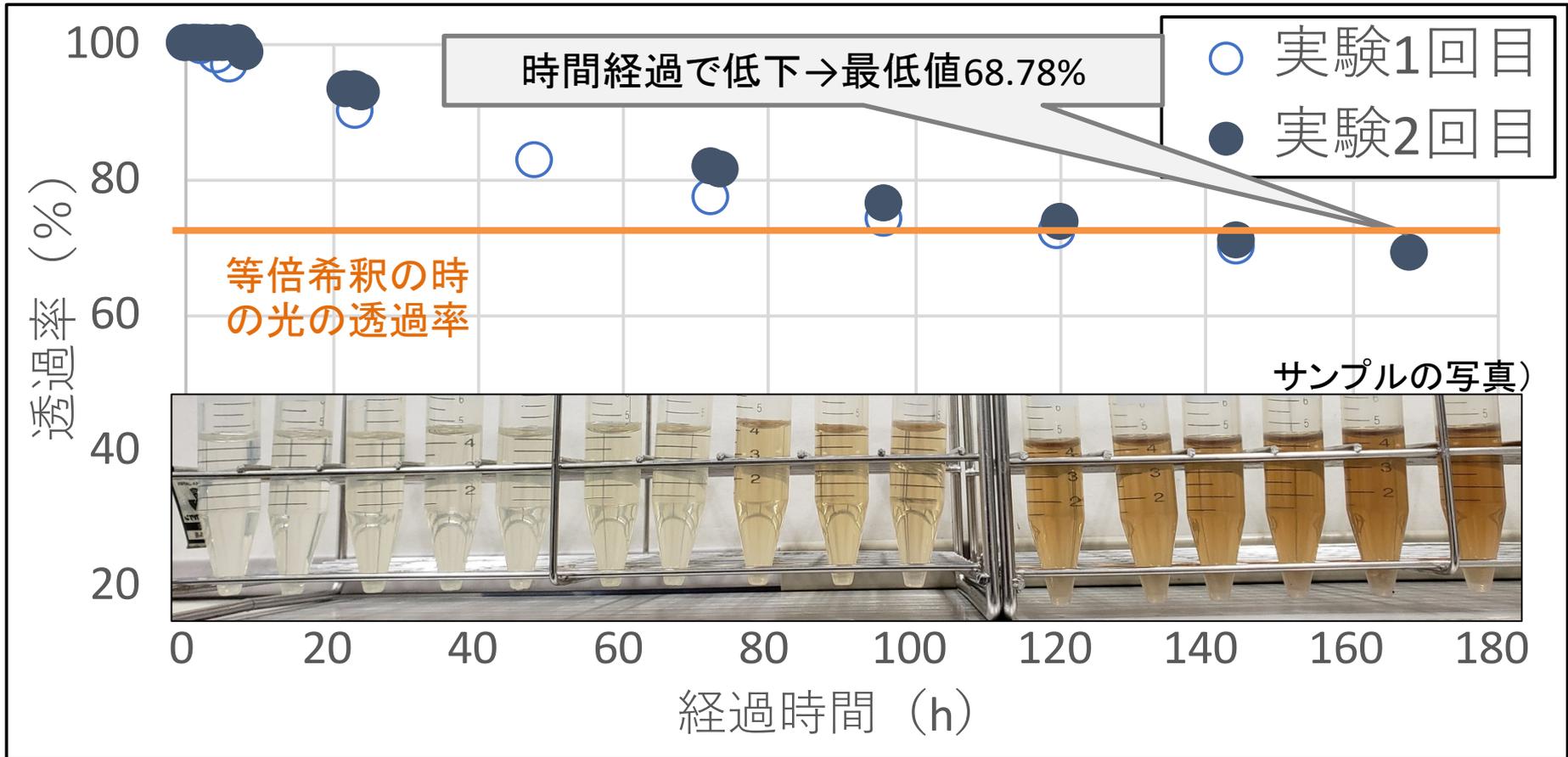
## 測定項目

- ・液面高さ（水頭差）  
→液量の算出
- ・イオン濃度
- ・光の透過率

同一槽内を循環させ、濃度を均一化

有効波長：藻類培養に有効とされる赤色光域の684nm

# 色成分（着色物質）の挙動

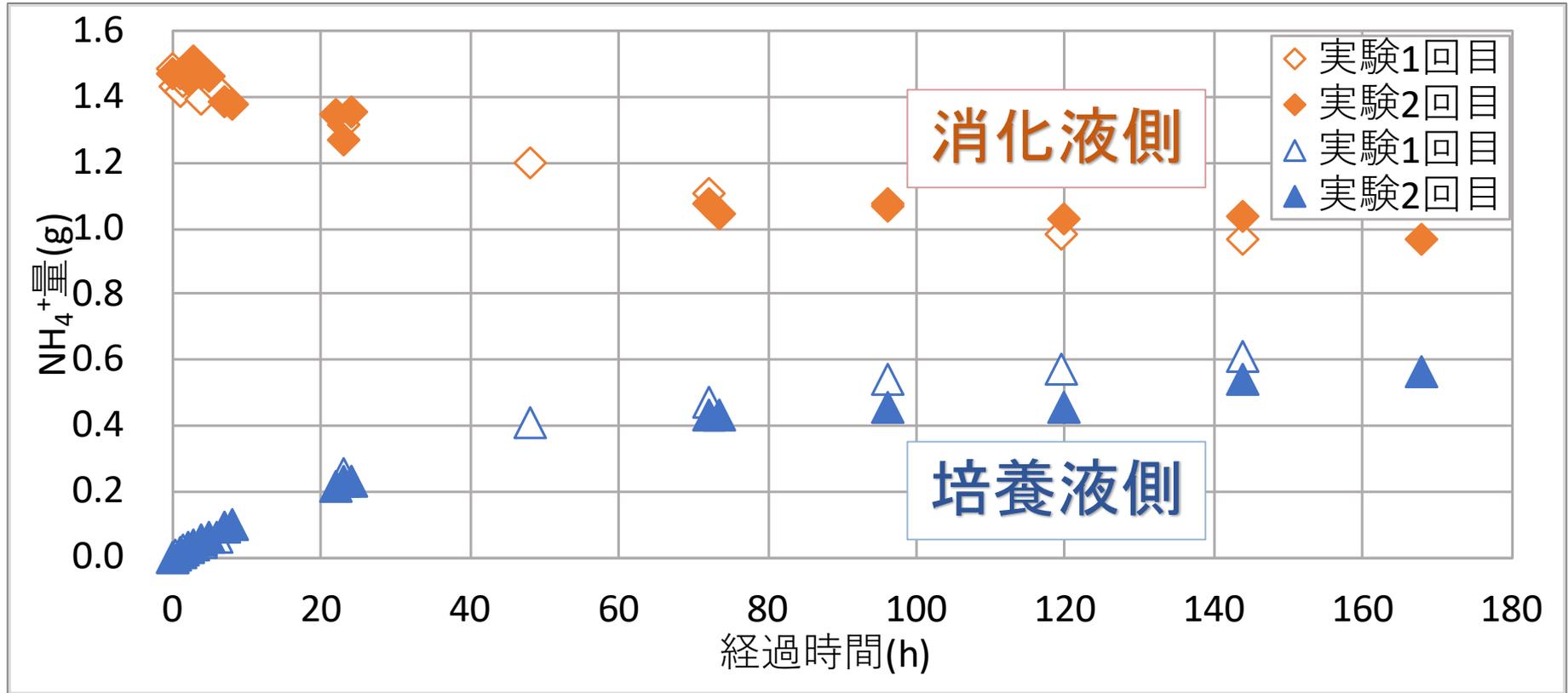


土着微細藻類培養に最適とされた**50倍希釈消化液培地の透過率(34.9%)<sup>1)</sup>**より良好

1) 消化液を用いた土着微細藻類の培養条件に関する基礎的研究、三宅琢、2017

→藻類培養に支障をきたすほど、透過率は低下しない

# NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の挙動



消化液から培養液へのNH<sub>4</sub><sup>+</sup>流入が確認された  
(他の種類の栄養塩 (K<sup>+</sup>など)も同様の傾向)

⇒移動速度・膜面積よりNH<sub>4</sub><sup>+</sup>フラックスを算出

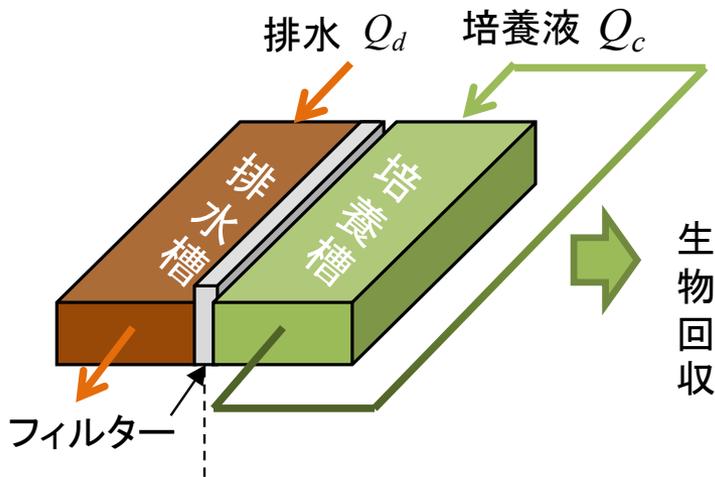




# 土着微細藻類培養（試算）

培養試験から得られたパラメータを用いて、ワンユニット(1m<sup>3</sup>)における膜分離による培養可能性を試算

	CO <sub>2</sub> ガス培養
培養後の土着微細藻類濃度[mg/L]	250
平均増殖速度[g/m <sup>3</sup> /d]	73
増殖微細藻類当たりのNH <sub>4</sub> 消費量[g/g]	0.062



$$C_{sd} = C_{sd}^{in} - \frac{r_x Y_{xs} V_c}{Q_d} \dots (5)$$

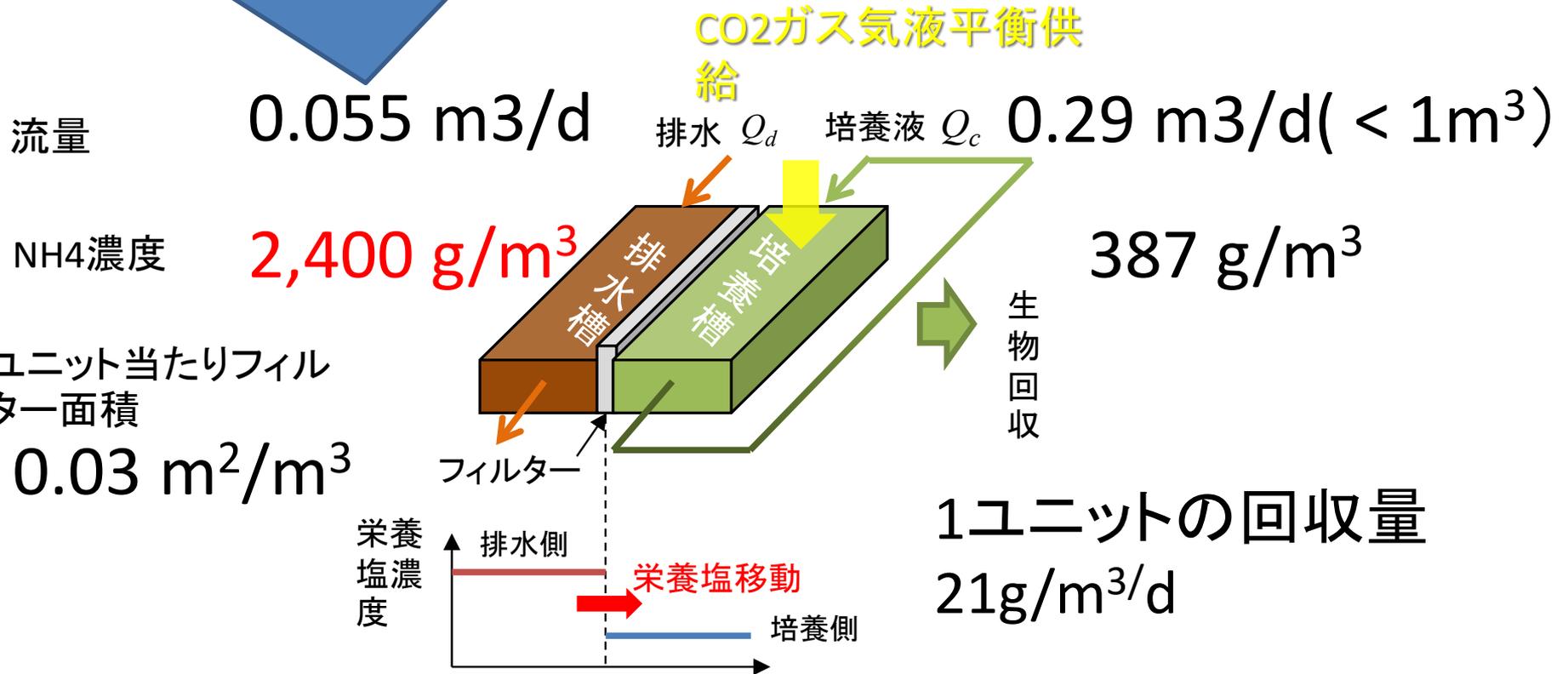
$$C_{sc} = C_{sd}^{in} - \frac{r_x Y_{xs} V_c}{Q_d} - \frac{r_x Y_{xs} V_c}{k A_f} \dots (6)$$

$$C_x = \frac{r_x V_c}{Q_c} \dots (7)$$

ここで、 $V$ : 槽の容積、 $C_s$ : 栄養塩濃度、 $C_x$ : 微細藻類濃度、 $Q$ : 槽への流量、添え字  $d$ : 排水液槽、添え字  $c$ : 培養槽、 $r_x$ : 微細藻類の増殖速度、 $Y_{xs}$ : 微細藻類当りの栄養塩消費量、 $F$ : 栄養塩分離フラックス、 $A_f$ : フィルター面積、 $k$ : 膜の移動速度係数

# 土着微細藻類培養（試算結果）

乳牛100頭規模の消化液\*の1%  
初期濃度 2,500 g/mg/m<sup>3</sup>



\*以下の値を用いて推計

糞尿発生量: 58.9 kg/day/頭、消化液発生率: 1kg-消化液/kg-糞尿、消化液の含水率: 93.24%、消化液の単位体積重量 1,000 kg/m<sup>3</sup>

# 本技術の適用（想定）

1. 排水中の栄養塩を利用したパッシブ栄養塩供給による微細藻類の生産
2. 排水中の窒素除去（微細藻類の生産よりも濃度低減を最適化）
3. メタン発酵槽からのアンモニア性窒素の除去（発酵の安定運転）

# 実用化に向けた課題

1. 着色物質(0.45 $\mu\text{m}$ 未満を通過する色成分)の微細藻類培養への影響
2. フィルターへの微細藻類付着による挙動への影響
3. 運転の最適化(微細藻類の増殖速度・培養槽の深さ)

# 産学連携の経緯

2015～2018年

北海道大学大学院寄附分野 循環・エネルギー技術システム分野

2019～現在 同 バイオマスコミュニティプランニング分野

にて寄附会社とともに実施

特に、土着微細藻類培養に関して、いであ(株)の助力のもと実施

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 藻類の培養方法および藻類培養システム
- 出願番号 : 特願2020-153276
- 出願人 : 北海道大学
- 発明者 : 佐藤 昌宏、中島 拓海、石井 一英、落合 知

# 本技術に関する問い合わせ先

北海道大学 大学院工学研究院  
循環共生システム研究室 佐藤 昌宏  
又は 石井 一英

TEL 011-706-7284

FAX 011-706-7287

e-mail [satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp](mailto:satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp)

又は [k-ishii@eng.hokudai.ac.jp](mailto:k-ishii@eng.hokudai.ac.jp)